Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 113-124

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۱۲۴-۱۱۳

تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و اجزای آن در دو ژنوتیپ و یک رقم ارزن دم‌روباهی

مسعود خزاعی[1*]- محمد گلوی[2]- مهدی دهمرده[3]- سید محسن موسوی نیک[3]- غلامرضا زمانی[4]- نفیسه مهدی نژاد[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰

چکیده

در شرایط کمبود آب انتقال الگوی کشاورزی به سمت گیاهان سازگار با خشکی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات کمبود آب باشد. ارزن دم‌روباهی گیاهی چهار کربنه با سازگاری خوب به نواحی خشک است که در شرایط تنش بسته شدن جزئی روزنه، تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و درنتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و اجزای آن آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. سطوح تنش خشکی (شامل شاهد، تنش ملایم و شدید به‌ترتیب با تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های kfm5 و kfm20 و رقم باستان به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی کارایی مصرف آب دانه را کاهش داد ولی تأثیر معنی‌داری بر کاهش کارایی مصرف آب عملکرد بیولوژیک نداشت. در تمام سطوح تنش ژنوتیپ باستان به علت شاخص برداشت بالاتر کارایی مصرف آب بالاتری از دو لاین دیگر در شرایط بدون تنش (۰/۸۱۷ در برابر ۰/۶۲۷) و تنش (۰/۵۶۳ در برابر ۰/۴۱۵ گرم بر کیلوگرم) داشت و برای شرایط تنش مناسب‌تر است. تحت تأثیر تنش کاهش عملکرد دانه به‌واسطه کاهش شاخص برداشت و کل ماده خشک بود. کل ماده خشک ژنوتیپ‌ها اختلافی نداشت و برتری رقم باستان به‌علت شاخص برداشت بالاتر بود. کارایی مصرف آب بالا در گیاه لازمه مقاومت و سازگاری در شرایط مواجهه با تنش خشکی است و به همراه شاخص برداشت که شاخصی از مقدار محصول قابل استفاده است، می‌توانند برای شناسایی ژنوتیپ‌ها و ارقام مناسب برای شرایط خشک و کمبود آب مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، ماده خشک

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محسوب می‌شود که از طریق تأثیر بر عواملی که وضعیت مورفوفیزیولوژیکی گیاه را تغییر می‌دهد (jaleel *et al.*, 2009)، اثرات شدیدی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی در نواحی مختلف جهان می‌گذارد (Daei *et al.*, 2012). تنش خشکی کارایی مصرف آب را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد و اغلب تحقیقات در این زمینه به‌منظور دست یافتن به کارایی مصرف بالا با حفظ تولید بالا متمرکز است (Gardner *et al.*, 2010). کارایی مصرف آب گیاه همبستگی مثبت با مقاومت گیاه به تنش خشکی دارد (Erfani *et al.*, 2013)، ولی برخی گونه‌ها باوجودی که تحمل خوبی به کمبود آب دارند، در شرایط بدون تنش نمی‌توانند استفاده کارآمد از آب داشته باشند. عوامل مدیریتی نظیر کنترل علف‌های هرز و آفات، بهبود تکنیک شخم و زمان کاشت نیز که عوامل محدودکننده رشد را کاهش می‌دهد بدون افزایش تبخیر و تعرق کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. این عوامل هردوی عملکرد و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Kafi *et al.*, 2010). تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب بسته به گونه گیاهی، مرحله فنولوژیکی مواجهه با تنش و شدت تنش متفاوت است (Keshavars *et al.*, 2012; Kumari, 1988). اختلاف بیشتر کارایی مصرف آب بر اساس مسیر فتوسنتزی است و گونه‌های چهار کربنه کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به سه کربنه‌ها دارند. فتوسنتز بالا و سرعت رشد تحت شرایط نور و درجه حرارت بالا به همراه مقاومت روزنه‌ای بالاتر گونه‌های چهار کربنه باعث کارایی مصرف آب بالاتر آن‌ها شده است.

در وضعیت محدودیت آب انتقال الگوی کشاورزی به سمت

۱- کارشناس ارشد آموزشی دانشگاه بیرجند و دانشجوی سابق دکتری زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲ و ۳ و ۵- به‌ترتیب استاد، دانشیار و استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: mkhazaei@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.59043

گیاهان سازگار با خشکی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با اثرات کمبود آب باشد (Seghataleslami *et al.*, 2008). ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) یک گیاه چهار کربنه با سازگاری خوب به نواحی خشک است که کارایی مصرف آب بالایی دارد (Hatfield *et al.*, 2001). در این گیاه افزایش میزان بسته شدن روزنه تحت تأثیر تنش ملایم، تعرق را بیشتر از فتوسنتز تحت تأثیر قرار می‌دهد و درنتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد ولی تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزنه شده و در نتیجه کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (Kafi *et al.*, 2010). گزارش شد که ارزن در مواجهه با تنش ملایم کارایی مصرف آب بالاتری را نسبت به شاهد نشان داد و در این شرایط افزایش فواصل آبیاری منجر به افزایش نسبت برگ به ساقه شد که همبستگی مثبت با کارایی مصرف آب دارد (Heidari Zooleh *et al.*, 2011). Keshavars *et al.* (2012) با افزایش شدت تنش در ارزن کاهش کارایی مصرف آب را گزارش کردند. همچنین ابراز داشتند که در اغلب محصولات زراعی بهبود کارایی مصرف آب باعث بهبود در زیست‌توده تولیدی نمی‌شود و علت اصلی بهبود عملکرد افزایش شاخص برداشت است.

در تحقیقی دیگر که تأثیر تنش خشکی بر رشد ارزن در دو سال مورد بررسی قرار گرفت، افزایش میزان آب مصرفی باعث افزایش کارایی مصرف آب دانه و کاهش کارایی مصرف آب زیست‌توده بالای سطح خاک شد. تأثیر تنش بر کارایی مصرف آب در دو سال آزمایش نیز متفاوت بود (Maman *et al.*, 2003).

باوجود اهمیت استفاده از گیاهان با راندمان مصرف آب بالا، هدف نهایی از تولید محصولات عملکرد قابل‌برداشت بیشتر است که تحت تنش خشکی در گیاهان تغییرات متفاوتی را نشان می‌دهد (Jaleel *et al.*, 2009). در مراحل مختلف رشد اندام‌های گیاهی برای دریافت آسیمیلات‌های فتوسنتزی باهم رقابت می‌کنند و تنش‌های محیطی علاوه بر کاهش فتوسنتز کل، تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش و یا افزایش عملکرد دانه یا از طریق تغییر کل ماده خشک تولیدی و یا تغییر در سهم عملکرد دانه صورت می‌گیرد. نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولیدی که به‌عنوان شاخص برداشت شناخته می‌شود می‌تواند یک معیار به‌منظور مقایسه قابلیت گونه‌های زراعی در تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه مورداستفاده قرار گیرد (Keshavars *et al.*, 20013). عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در یولاف (*Avena fatua*) انعطاف‌پذیری دارد و لاین‌های با عملکرد بیولوژیک بالا و شاخص برداشت ۵۰-۴۰٪ بالاترین عملکرد دانه را دارند. در حالی‌که در اغلب غلات دانه‌ریز افزایش عملکرد دانه اساساً به علت افزایش شاخص برداشت است. گیاه هیچ ماده خشک اضافی تولید نمی‌کند و فقط ماده خشک بیشتری را به عملکرد اقتصادی اختصاص می‌دهد (Gardner *et al.*, 2010).

خدابندلو و همکاران (Khodabandloo *et al.*, 2014) کاهش عملکرد دانه را در زمان مواجهه با تنش در ارزن دم‌روباهی گزارش کردند و بخشی از کاهش عملکرد در این شرایط را به علت کاهش شاخص برداشت دانه دانستند. ثقه‌الاسلام و همکاران (Seghataleslami *et al.*, 2008) نیز در تحقیقی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد را بر شاخص برداشت دانه در ارقام ارزن مورد بررسی قرار دادند و تغییرات متفاوتی را در شاخص برداشت دانه، پانیکول و دانه در پانیکول در ارقام مختلف ارزن گزارش کردند و ابراز نمودند که تنش در اغلب مراحل رشد باعث کاهش شاخص برداشت شد ولی تنش در مرحله ظهور خوشه کمترین شاخص برداشت را نشان داد. یاداو و باتاگار (Yadav and Bhatagar, 2001) گزارش کردند که در ارزن کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش به کاهش شاخص برداشت مربوط می‌شود. بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت به‌ترتیب در تیمار شاهد (بدون تنش) و تنش شدید مشاهده شد. در شرایط تنش، کاهش شاخص برداشت در ارزن عموماً به علت محدودیت منبع نیست و بیشتر با ظرفیت پنجه‌زنی بالای آن مرتبط است. در شرایط محدودیت آب پنجه‌های جدید برای دریافت مواد فتوسنتزی با دانه رقابت می‌کنند و در این حالت ظرفیت پنجه‌زنی به‌عنوان یک خصوصیت منفی برای تولید دانه در ارزن محسوب می‌شود (Keshavars *et al.*, 2013). تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و نقش آن در کاهش عملکرد در دو ژنوتیپ و یک رقم ارزن انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و شاخص برداشت در ارزن آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. سطوح مختلف تنش خشکی (شامل شاهد، تنش متوسط و تنش شدید به‌ترتیب بر اساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های ارزن دم‌روباهی (شامل باستان به‌عنوان رقم مورد کشت در منطقه و لاین‌های امیدبخش KFM5 و KFM20) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم پاییزه و بهاره و دیسک و تسطیح در بهار ۹۳ و ۹۴ انجام شد. قبل از کاشت نمونه‌گیری از خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام و کودپاشی بر اساس نتایج آزمون خاک از منابع اوره ($(NH_2)_2CO$)، فسفات دی آمونیم ($HPO_4(NH4)_2$) و سولفات پتاسیم (K_2SO_4) به‌ترتیب به میزان ۲۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار انجام گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Some physical and chemical properties of soil

K (ppm)	P (ppm)	% N	بافت Texture	رس ٪ % Clay	سیلت ٪ % Silt	شن ٪ % Sand	EC $mS.cm^{-1}$	pH
232	5.1	0.025	loam	24.7	30.0	45.3	7.9	7.9

کاشت در اول تیرماه ماه صورت گرفت. هر کرت شامل چهار خط به طول شش متر، فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین هر کرت فرعی و کرت مجاور یک خط نکاشت و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری تا مرحله چهار تا شش برگی به‌صورت معمول صورت گرفت و از مرحله چهار برگی پس از تنک کردن بوته به تراکم ۵۰ بوته در مترمربع تنش خشکی اعمال شد (Azari and Mirzaei, 2012). کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی تا مرحله چهار برگی صورت گرفت. تیمار آبیاری پس از تخلیه رطوبتی تا ۶۰ درصد آب قابل‌استفاده و از طریق اندازه‌گیری میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (به روش FAO) و تعیین میزان تخلیه رطوبت خاک، بر اساس میزان رطوبت تعیین شده در آزمایش خاک انجام شد. بدین ترتیب که در تیمار شاهد آبیاری تا حد ظرفیت زراعی در عمق توسعه ریشه (اضافه کردن ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی) و در تیمار تنش ملایم و شدید به‌ترتیب ۷۵ و ۵۰ درصد تیمار شاهد تا پایان دوره رویش انجام شد (بر اساس آزمایش خاک میزان آب مصرفی در ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی در هر نوبت آبیاری در تیمار شاهد ۶۰۰ و در تنش ملایم و شدید به‌ترتیب ۴۵۰ و ۳۰۰ لیتر در هر کرت بود).

کارایی مصرف آب دانه با محاسبه نسبت عملکرد دانه به حجم آب مصرفی و کارایی مصرف آب بیولوژیک با محاسبه نسبت کل ماده خشک تولیدشده به حجم آب مصرفی برحسب گرم ماده خشک تولیدی (دانه و کل) به‌ازای لیتر آب مصرفی با استفاده از معادلات زیر تعیین شد (Ehdaei, 1995).

$$WUE_{seed}: SY/WU \quad (۱)$$

$$WUE_{biological}=DM/WU \quad (۲)$$

در این معادله، SY عملکرد دانه و DM میزان ماده خشک برحسب گرم، WU میزان آب مصرفی برحسب لیتر، WUE کارایی مصرف آب دانه و بیولوژیک و برحسب گرم ماده خشک به ازای لیتر آب مصرفی است. برای تعیین عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (رقم باستان ۹۰ و دو ژنوتیپ دیگر ۱۱۰ روز پس از کاشت)، پس از حذف دو خط حاشیه و نیم متر ابتدا و انتهای کرت، از سطح یک مترمربع به‌صورت تصادفی برداشت به‌صورت برش از سطح خاک انجام شد. ماده خشک تولیدی و اجزای آن پس از جدا نمودن اجزای عملکرد و خشک‌کردن نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. سپس پانیکول‌ها کوبیده شد و دانه‌ها جدا و توزین گردید و عملکرد دانه و شاخص برداشت دانه، سنبله و دانه در سنبله با استفاده از معادله ۳ تعیین شد.

(۳) ۱۰۰*(ماده خشک تولیدی/ عملکرد دانه)= شاخص برداشت

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

برهم‌کنش بین سال، تنش و ژنوتیپ بر هیچ‌یک از صفات مورد بررسی به‌جز عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد (جدول ۲) که نشان می‌دهد صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های ارزن مستقل از سطوح مختلف تنش در هر یک از سال‌های آزمایش است و افزایش تنش در دو سال آزمایشی تأثیر مشابهی بر صفات مورد مطالعه در سه ژنوتیپ داشت (جدول ۲). برهم‌کنش تنش و ژنوتیپ نیز بر هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی ازنظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۱)، که نشان می‌دهد اثرگذاری تنش بر صفات مورد بررسی مستقل از ژنوتیپ‌های ارزن است. تنش تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب بیولوژیک در سه ژنوتیپ نداشت (جدول ۲) ولی در دو سال بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ازنظر کارایی مصرف آب بیولوژیک مشاهده شد. رقم باستان در دو سال بالاترین کارایی مصرف آب بیولوژیک را داشت و اختلاف معنی‌داری با دو ژنوتیپ دیگر داشت، ولی اختلاف دو ژنوتیپ دیگر معنی‌داری نبود (جدول ۳).

برخلاف کارایی مصرف آب بیولوژیک تأثیر تنش بر کارایی مصرف آب دانه مستقل از سال‌های آزمایش نبود به‌گونه‌ای که در سال دوم برخلاف سال اول تنش تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب دانه در مقایسه با شاهد نداشت. در دو سال افزایش تنش باعث کاهش کارایی مصرف آب دانه شد. بالاترین کارایی مصرف آب دانه در سال اول از تیمار شاهد به‌دست آمد و اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تنش داشت. در سال دوم نیز بالاترین کارایی مصرف آب دانه

از شاهد حاصل شد ولی اختلاف آن با سایر سطوح تنش معنی‌دار نبود (جدول ۳). در دو سال رقم باستان بالاترین کارایی مصرف آب دانه را نیز نشان داد و اختلاف معنی‌داری با دو ژنوتیپ دیگر داشت. در سال اول ژنوتیپ KFM20 ازنظر کارایی مصرف آب اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ KFM5 نداشت ولی در سال دوم کارایی مصرف آب در این ژنوتیپ به‌طور معنی‌داری کمتر از ژنوتیپ KFM5 بود (جدول ۳). در دو ژنوتیپ و رقم باستان کارایی مصرف آب در سال اول به‌طور معنی‌داری بالاتر از سال دوم بود ولی شدت کاهش در ژنوتیپ KFM20 به‌میزان ۵۴ درصد نسبت به سال اول بیشتر از ژنوتیپ KFM5 و رقم باستان دیگر بود. در تحقیقی دیگر نیز تأثیر تنش بر کارایی مصرف آب در دو سال آزمایش متفاوت بود و علت افزایش کارایی مصرف آب دانه، افزایش درجه حرارت گزارش شد (Maman *et al.*, 2003). در تحقیق حاضر میانگین درجه حرارت در سال دوم پایین‌تر از سال اول بود که می‌تواند در کاهش کارایی مصرف آب دانه در سال دوم مؤثر باشد. تغییرات اقلیمی نظیر افزایش درجه حرارت و غلظت دی‌اکسید کربن از طریق افزایش سرعت فتوسنتز می‌تواند کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد.

در تمام سطوح تنش کارایی مصرف آب دانه در رقم باستان بالاتر از دو ژنوتیپ دیگر بود و بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش نیز قرار گرفت به‌طوری‌که در تنش متوسط با وجود برتری اختلاف معنی‌داری با دیگر ژنوتیپ‌ها نداشت. در تمام تیمارهای آزمایشی کارایی مصرف آب دانه نیز در سال دوم به‌طور معنی‌داری کمتر از سال اول بود (جدول ۲).

تنش شدید منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب شد و رقم باستان با ۳۰ درصد کاهش نسبت به شاهد کمترین کاهش را نشان داد ولی کاهش کارایی مصرف آب بیولوژیک در هیچ‌یک از ژنوتیپ‌ها ازنظر آماری معنی‌دار نبود. در واقع مکانیسم تغلیظ دی‌اکسیدکربن در گیاهان چهار کربنه منجر به تولید ماده خشک بالاتر در شرایط خشک می‌شود (Larcher, 1995). در گیاهان چهارکربنه تنش ملایم، تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش می‌دهد و در نتیجه حتی منجر به افزایش کارایی می‌شود، ولی تنش شدید به‌واسطه بسته شدن کامل روزنه محدودیت‌های متابولیکی را نیز افزایش داده و در نتیجه کارایی مصرف آب را کاهش می‌دهد (Kafi *et al.*, 2010; Zhang and Kirkham, 1995). تشدید و یا تداوم تنش خشکی علاوه بر محدودیت روزنه‌ای از طریق تأثیر بر سایر عوامل مؤثر بر فتوسنتز، آسیمیلاسیون چهار کربنه‌ها را نیز محدود می‌کند (Lawlor, 2002; Ripley *et al.*, 2007). مقاومت روزنه عامل اصلی محدودکننده آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن در شروع و تنش ملایم خشکی و در حین تنش ملایم خشکی است (Cornic, 2000) کارایی مصرف آب بالاتر رقم باستان در تمام سطوح تنش نشان‌دهنده تحمل بیشتر این رقم به تنش خشکی است (Erfani *et al.*, 2013)، ولی شدت تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب علاوه بر اینکه به گونه گیاهی بستگی دارد به مرحله فنولوژیکی مواجهه با تنش و شدت تنش نیز وابسته است (Keshavars *et al.*, 2012; Kumari, 1988).

حیدری زوله و همکاران (Heidari Zooleh *et al.*, 2011) نیز گزارش کردند که در روش‌های مختلف آبیاری راندمان مصرف آب تحت تأثیر تنش ملایم، افزایش و در تنش شدید کاهش یافت و علت آن را افزایش نسبت برگ به ساقه و کوچک و ضخیم‌تر شدن برگ‌ها تحت تأثیر تنش بیان نموده‌اند. تغییر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه نظیر افزایش ضخامت برگ می‌تواند باعث واکنش متفاوت کارایی مصرف آب در ارقام مختلف شود و ارقام مورد مطالعه نیز از این نظر متفاوت بودند. نتایج تحقیقات دیگری کاهش کارایی مصرف آب دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت شرایط مواجهه با تنش در ارزن گزارش کردند و ابراز داشتند در اغلب محصولات زراعی بهبود کارایی مصرف آب باعث بهبود در زیست توده تولیدی نمی‌شود و علت اصلی بهبود عملکرد افزایش شاخص برداشت است (Keshavarz *et al.*, 2013; Khodabandloo *et al.*, 2014).

نتایج تحقیق نشان داد در دو سال افزایش تنش در دو ژنوتیپ و رقم باستان باعث کاهش شاخص برداشت دانه شد (جدول ۳). بیشترین میزان کاهش شاخص برداشت دانه در تنش ملایم و شدید به‌ترتیب مربوط به رقم باستان (۳۸ درصد) و ژنوتیپ KFM5 (۳۹درصد در مقایسه با شاهد) بود و ژنوتیپ KFM20 کمترین حساسیت را به افزایش تنش نشان داد (جدول ۳). در هیچ‌یک از سطوح تنش اختلاف معنی‌داری بین رقم باستان و ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. بررسی تأثیر تنش بر شاخص برداشت دانه در دو سال نشان داد در سه سطح تنش نه‌تنها شاخص برداشت دانه در سال اول بیشتر از سال دوم بود میزان کاهش آن تحت تأثیر تنش نیز در سال اول بالاتر بود (جدول ۳). معنی‌داری برهم‌کنش بین سال و ژنوتیپ نیز نشان می‌دهد که شاخص برداشت دانه در ژنوتیپ مستقل از سال‌های آزمایش نیست. باوجود عدم اختلاف معنی‌دار ژنوتیپ‌ها در سال اول، در سال دوم شاخص برداشت دانه رقم باستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود (جدول ۳).

بین دو سال آزمایشی اختلاف معنی‌داری ازنظر شاخص برداشت دانه وجود داشت. در تمام تیمارهای آزمایشی شامل اثرات ساده و متقابل شاخص برداشت دانه در سال اول بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳).

تأثیر تنش بر شاخص برداشت پانیکول مستقل از سال آزمایش نبود (جدول ۱) به‌گونه‌ای که در سال اول تنش شدید منجر به کاهش معنی‌دار شاخص برداشت پانیکول شد ولی در سال دوم کاهش شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز میانگین مربعات (تجزیه مرکب) برای کارایی مصرف آب و اجزای آن و عملکرد تحت تأثیر ژنوتیپ ارزن و تنش خشکی در دو سال آزمایش

Table 2- Combine analysis of variance (mean square) for water used efficiency, harvest index and yield of millet genotypes under drought stress in two years

منابع تغییر	Source of variation	d.f	کارایی مصرف آب Water use efficiency		شاخص برداشت Harvest index			عملکرد Yield	
			بیولوژیک Biological	دانه Seed	دانه Grain	پانیکول Ear	دانه در پانیکول Seed per panicle	دانه Grain	بیولوژیک Biological
سال	Year (Y)	1	0.226^{ns}	1.002*	3550**	5260**	0.1^{ns}	230075*	30586^{ns}
خطای اصلی	Error a	6	0.306	0.169	1404	804	2020	28206	279336
تنش	Stress (S)	2	0.005^{ns}	0.473^{ns}	2556^{ns}	2170^{ns}	1372^{ns}	252453*	1053087*
سال*تنش	Y*S	2	0.177^{ns}	0.161*	652**	183*	1182*	22355*	46262^{ns}
خطای فرعی	Error b	12	0.104	0.027	321	223	1746	5121	21887
رقم	Variety (V)	2	1.462**	0.225^{ns}	46^{ns}	953^{ns}	2271^{ns}	8792ns	46079^{ns}
سال*رقم	Y*V	2	0.006^{ns}	0.043*	608**	1183**	134^{ns}	12595*	5662.^{ns}
تنش*رقم	S*V	4	0.192^{ns}	0.022^{ns}	198^{ns}	205^{ns}	190^{ns}	3998^{ns}	171415^{ns}
سال*تنش*رقم	Y*S*V	4	0.074^{ns}	0.020^{ns}	39^{ns}	88^{ns}	*447	4868^{ns}	61197*
خطا	Error c	36	0.041	0.015	18	16	33	2443	5826
CV%			11.37	22.82	14.33	10.07	8.02		9.78

*,** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری

*, ** and ns means significant at 0.05 and 0.01 probability level and non-significant respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب، شاخص برداشت و عملکرد تحت تأثیر رقم باستان و دو ژنوتیپ ارزن و تنش خشکی در سال‌های ۹۳ و ۹٤

Table 3- Mean comparison of simple and interaction effects on water use efficiency, harvest index and yield in bastan and two genotypes of millet and drought stress levels in two years

			کارایی مصرف آب Water use efficiency		شاخص برداشت Harvest index			عملکرد Yield	
سال Year	تنش Stress	ژنوتیپ Genotype	بیولوژیک Biological $g L^{-1}$	دانه Seed $g L^{-1}$	دانه Grain	پانیکول Ear	دانه در پانیکول Seed per panicle	دانه Seed ($g m^{-2}$)	بیولوژیک Biological ($g m^{-2}$)
93			1.739	0.659	36.60	49.08	72.33	297.2	759.11
94			1.851	0.422	22.56	31.98	72.66	184.1	800.33
LSD (0.05)			0.319	0.236	21.61	0.1635	25.91	96.85	304.78
	S_1		1.811	0.692	37.79	47.80	78.41	353.2	931.3
	S_2		1.781	0.497	27.13	39.25	68.76	216.0	772.5
	S_3		1.733	0.432	23.82	34.53	69.57	152.4	635.4
LSD (0.05)			0.522	0.498	0.3171	16.80	42.70	140.1	267.17
	S_1	Bastan	1.952	0.817	41.34	52.33	78.32	368.0	878.50
	S_2		2.055	0.550	25.25	38.87	63.31	213.0	796.58
	S_3		2.016	0.576	25.04	36.32	68.28	187.2	720.25
	S_1	KFM5	1.818	0.668	37.17	50.71	71.87	367.4	1000.2
	S_2		1.770	0.521	28.87	44.10	64.85	241.0	818.71
	S_3		1.523	0.349	22.86	36.21	63.69	131.2	571.42
	S_1	KFM20	1.664	0.589	34.86	40.40	85.03	324.1	915.33
	S_2		1.518	0.421	27.50	33.81	85.54	194.9	694.25
	S_3		1.638	0.369	23.58	31.07	76.76	138.7	614.42
LSD (0.05)			0.205	0.196	8.66	13.02	29.34	167.7	343.36
93	S_1		1.827	0.901	49.06	58.48	83.82	461.89	936.33
93	S_2		1.749	0.590	32.31	46.08	67.62	258.53	760.78
93	S_3		1.611	0.483	28.44	42.68	65.25	171.1b	580.22
94	S_1		1.796	0.482	26.52	37.10-	72.99	244.41	926.33
94	S_2		1.813	0.404	21.95	32.43	69.90	174.3	784.16
94	S_3		1.914	0.380	19.20	26.39	73.89	133.67	690.50
LSD (0.05)			0.286	0.146	15.94	13.28	37.17	98.13	131.61
93		Bastan	2.004	0.736	34.21	46.34	70.43	293.49	786.89
93		KFM5	1.630	0.613	36.27a	51.74	68.16	296.87	764.11
93		KFM20	1.553	0.626	36.33	49.16	78.10	277.1	726.33
94		Bastan	2.085	0.559	26.87	38.67	69.49	218.8	810.00
94		KFM5	1.778	0.413	23.00	35.58	65.44	196.25	729.41
94		KFM20	1.661	0.294	17.81	21.69	81.85	137.33	761.58
LSD (0.05)			0.167	0.101	3.552	3.32	4.76	61.78	63.31

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه

S1, S2 and S3 are 100, 75 and 50 percent plant water requirement respectively

شاخص برداشت پانیکول در ژنوتیپ نیز مستقل از سال‌های آزمایش نبود به‌طوری‌که در سال اول رقم باستان کمترین ولی در سال دوم بیشترین شاخص برداشت پانیکول را داشت (جدول ۳). شاخص برداشت در این رقم کمتر از دو ژنوتیپ دیگر تحت تأثیر سال آزمایش بود. با افزایش شدت تنش شاخص برداشت پانیکول در دو ژنوتیپ و رقم باستان کاهش نشان داد. بیشترین و کمترین میزان کاهش شاخص برداشت پانیکول به‌ترتیب در رقم باستان (۳۲ درصد) و ژنوتیپ KFM20 (۲۵ درصد در مقایسه با شاهد) بود و ژنوتیپ KFM20 از این نظر حساسیت کمتری به افزایش تنش نشان داد (جدول ۳). در تمام سطوح تنش شاخص برداشت پانیکول در رقم باستان بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود ولی در تنش شدید اختلاف ارقام معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد باستان بیشتر تحت تأثیر تنش قرار

گرفت. در تمام تیمارهای آزمایشی شامل اثرات ساده و متقابل شاخص برداشت پانیکول در سال اول بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳).

در دو سال ژنوتیپ KFM20 بیشترین شاخص برداشت دانه در پانیکول را داشت و از این نظر اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ و رقم دیگر داشت (جدول ۳). ژنوتیپ KFM5 در هر دو سال کمترین شاخص برداشت دانه در پانیکول را داشت ولی اختلاف معنی‌داری با رقم باستان نداشت. در هر سه ژنوتیپ و رقم با افزایش شدت تنش شاخص‌های برداشت دانه در پانیکول کاهش یافت ولی اختلاف ازنظر آماری معنی‌دار نبود. در هیچ‌یک از سطوح تنش اختلاف معنی‌داری ازنظر شاخص برداشت دانه بین ژنوتیپ‌ها و رقم باستان نیز مشاهده نشد (جدول ۳). اثر اصلی تنش خشکی و سال بر شاخص برداشت دانه در پانیکول ازنظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲).

در هر دو سال با افزایش شدت تنش عملکرد دانه کاهش معنی‌داری نشان داد ولی عملکرد دانه و میزان کاهش آن تحت تأثیر تنش در سال اول بیشتر از سال دوم بود. دو سال ازنظر عملکرد بیولوژیک اختلافی معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). اثرگذاری تنش بر عملکرد دانه مستقل از سال‌های آزمایش نبود (جدول ۲). در سال اول اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها و رقم باستان مشاهده نشد ولی در سال دوم عملکرد دانه در ژنوتیپ KFM20 به‌طور معنی‌داری کمتر از ژنوتیپ و رقم دیگر بود (جدول ۳). در دو ژنوتیپ و رقم باستان با افزایش تنش عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی کاهش کل ماده خشک تولیدی معنی‌دار نبود (جدول ۳). در هیچ‌یک از سطوح تنش اختلاف معنی‌داری ازنظر عملکرد بین دو ژنوتیپ و رقم باستان مشاهده نشد. اثر اصلی تنش خشکی بر عملکرد دانه و ماده خشک ازنظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه و ماده خشک در دو سال آزمایش مربوط به تیمار بدون تنش (۱۰۰٪ درصد تأمین نیاز رطوبتی) بود و اختلاف معنی‌داری با تنش شدید داشت (جدول ۳). در هر سطح تنش اختلاف معنی‌داری بین ماده خشک کل در دو سال وجود نداشت ولی عملکرد دانه در سال اول به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم بود (جدول ۳).

تنش خشکی تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف را نیز تحت تأثیر قرار داده (Gardner *et al.*, 2010) و از طریق توسعه ریشه به بخش‌های عمیق‌تر خاک توسعه اندام‌های هوایی را کاهش می‌دهد (Anjum *et al.*, 2011). جلوگیری از توسعه اندام‌های هوایی، سهم بیشتری از آسیمیلات‌ها را به ریشه اختصاص می‌دهد (Kafi *et al.*, 2010). یکسان نبودن تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت در ارقام ارزن می‌تواند به‌علت تنوع ژنتیکی بالای ارزن دم‌روباهی ازنظر خصوصیات مورفولوژیکی باشد (Brunda *et al.*, 2014). ژنوتیپ‌ها و رقم موردمطالعه نیز ازنظر ویژگی‌های مورفولوژیکی نظیر اندازه برگ، طول سنبله، قطر سنبله، قطر ساقه و نیز طول دوره رشد با هم اختلاف داشتند و به همین علت تأثیرپذیری متفاوتی را در شرایط تنش نشان دادند (Vadez *et al.*, 2012). در دیگر ارقام ارزن نیز واکنش متفاوتی به تنش گزارش شد (Khazaei *et al.*, 2005).

کاهش عملکرد دانه تحت تأثیر تنش در مرحله رشد رویشی می‌تواند به علت کاهش کل ماده خشک تولیدی به‌واسطه کاهش سطح برگ فعال فتوسنتزی برگ باشد. عکس‌العمل برگ‌پرچمی بیشتر از سایر برگ‌ها است و در غلات بیشترین نقش را در رشد اندام‌های زایشی گیاه دارد. بنابراین عملکرد دانه را بیش از عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه کارایی مصرف آب نسبت به کارایی تبخیر و تعرق بیشتر تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد (Hui-Ping *et al.*, 2012). علاوه بر این اعمال تنش در دوره رشد زایشی می‌تواند از طریق کاهش رشد طولی و قطر پانیکول به‌علت کاهش طول دوره زایشی باعث کاهش عملکرد دانه شود (Alizadeh *et al.*, 2007) و نه‌تنها از طریق کاهش سرعت فتوسنتز و کاهش سرعت انتقال مواد، رشد اندام‌های زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد از این طریق نیز باعث کاهش رشد اندام‌های زایشی شود. در تحقیق حاضر اعمال تنش در دو مرحله رشد رویشی و زایشی از طریق کاهش سرعت فتوسنتز تغییر در سهم عملکرد دانه باعث کاهش عملکرد دانه شد. کاهش سرعت فتوسنتز به علت واکنش بسته شدن روزنه صورت می‌گیرد و یکی از مکانیسم‌های مقاومت، به علت کاهش میزان آب در سلول است. افزایش طول ریشه به‌منظور نفوذ عمقی ریشه در جستجوی آب و اجتناب از تنش و نیز سنتز اسمولیت‌های پرولین و هیدرات‌کربن تحت تنش خشکی منجر به کاهش سهم عملکرد دانه از آسیمیلات‌های فتوسنتزی می‌شود. در مطالعه حاضر کاهش شاخص برداشت دانه، سنبله و دانه در سنبله شاخصی از کاهش تخصیص آسیمیلات‌های فتوسنتزی به اندام‌های زایشی تحت شرایط تنش است. البته شاخص برداشت به‌اندازه بوته، شرایط محیطی و رقم نیز وابسته است ولی اعتقاد بر این است که کاهش اندازه گیاه، به‌واسطه تنش در تعیین شاخص برداشت تأثیر دارد و به‌خودی‌خود نقشی در کاهش شاخص برداشت ندارد (Prihar and Stewart, 1991). تعداد سنبله بیشتر در ژنوتیپ KFM20 خصوصاً در شرایط محدودیت آب باعث شده پنجه‌های جدید برای دریافت مواد فتوسنتزی با دانه رقابت کنند. در این شرایط تنش پنجه‌های جدید توانایی پایینی برای تولید خوشه‌های بارور دارند که می‌تواند علت کاهش بیشتر شاخص برداشت دانه و درنتیجه عملکرد پایین دانه در مقایسه با ژنوتیپ و رقم دیگر شود (Gardner *et al.*, 2010). دیگر تحقیقات نیز کاهش شاخص برداشت دانه، پانیکول و دانه در پانیکول را تحت شرایط تنش خصوصاً در مرحله ظهور خوشه در ارقام مختلف ارزن گزارش کردند و ابراز نمودند که میزان کاهش شاخص برداشت در ارقام مختلف متفاوت بود (Khodabandloo *et al.*, 2014; Seghateslami *et al.*, 2008).

یاداو و باتاگار (Yadav and Bhatagar, 2001) گزارش کردند که کاهش ۵۰ درصدی عملکرد در شرایط تنش به کاهش شاخص برداشت مربوط می‌شود. بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت به‌ترتیب در تیمار شاهد (بدون تنش) و تنش شدید مشاهده شد. کاهش شاخص برداشت ارزن در سال دوم را می‌توان به علت کاهش درجه حرارت در حین گلدهی دانست.

تجزیه همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های مورد بررسی به تفکیک سال آزمایش، سطوح تنش و ژنوتیپ‌ها نشان داد در دو سال آزمایش عملکرد دانه بالاترین همبستگی را به‌ترتیب با شاخص برداشت دانه، کارایی مصرف آب دانه و کل ماده خشک نشان دادند. رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مؤثر بر عملکرد دانه نیز در دو سال نشان داد به‌ترتیب کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. در سال اول اثرگذاری شاخص برداشت دانه بیشتر از سال دوم نشان داد.

تجزیه همبستگی عملکرد دانه برای سه سطح تنش نیز نشان داد در تمام سطوح تنش به‌ترتیب کارایی مصرف آب، شاخص برداشت دانه، شاخص برداشت پانیکول و ماده خشک بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه نشان داد. رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مؤثر بر عملکرد دانه نیز در هر یک از سطوح تنش نشان داد به‌ترتیب کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه و ماده خشک بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. با افزایش شدت تنش سهم کارایی مصرف آب دانه و کل ماده خشک تولیدی افزایش و در عوض سهم شاخص برداشت دانه و پانیکول در عملکرد دانه کاهش نشان داد. در تمام سطوح تنش کارایی مصرف آب بیولوژیک منفی بر عملکرد دانه داشت. به‌نظر می‌رسد در شرایط آبیاری مناسب ارقام با شاخص برداشت دانه بالاتر و در شرایط تنش ارقام با کارایی مصرف آب دانه و ماده خشک بالا مناسب باشند.

تجزیه همبستگی عملکرد دانه برای هریک از ارقام نیز نشان داد در همه ارقام کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه، پانیکول و ماده خشک به‌ترتیب بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه نشان داد. رگرسیون گام‌به‌گام متغیرهای مؤثر بر عملکرد دانه نشان داد در ژنوتیپ KFM20 و KFM5 کارایی مصرف آب دانه و ماده خشک و در رقم باستان به‌ترتیب شاخص برداشت دانه، کارایی مصرف آب دانه و ماده خشک بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند و کارایی مصرف آب بیولوژیک و شاخص برداشت پانیکول در همه ارقام تأثیر منفی داشت.

نتیجه‌گیری

انتظار می‌رود در شرایط مواجهه با تنش ارقام و ژنوتیپ‌های با کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه بالاتر، عملکرد دانه بالاتری تولید کنند و بنابراین در بین ژنوتیپ‌ها و رقم مورد مطالعه رقم باستان به دلیل کارایی مصرف آب دانه و شاخص برداشت دانه بالا در شرایط تنش مناسب‌تر باشد. در این رقم همبستگی بیشتر شاخص برداشت دانه با عملکرد دانه نیز به استفاده کارآمدتر از آب کمک می‌کند، حال‌آن‌که این شاخص در دو ژنوتیپ دیگر اهمیت کمتری دارد. در شرایط آبیاری مناسب ژنوتیپ KFM5 به‌واسطه بالاتر بودن شاخص برداشت دانه ازنظر عملکرد دانه وضعیت خوبی داشت ولی از این نظر اختلاف معنی‌داری با رقم باستان نداشت و لذا هر دو برای این شرایط قابل توصیه هست.

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با برخی صفات مورد بررسی به تفکیک سال، سطوح تنش خشکی و ژنوتیپ ارزن

Table 4- Correlation coefficient between seed yield with water used efficiency and its component in divided for each years, stress levels and Genotype

عملکرد دانه	Seed yield	کارایی مصرف آب Water Use Efficiency		شاخص برداشت دانه	شاخص برداشت پانیکول	شاخص برداشت دانه در پانیکول	ماده خشک
		دانه Seed	بیولوژیک Biological	Seed HI	panicle HI	Seed per.ear	DM
دو سال	Two years	0.94**	0.40*	0.94**	0.85**	0.53**	0.74**
سال اول	First yeas	0.94**	0.58**	0.94**	0.91**	0.85**	0.93**
سال دوم	Second year	0.86**	0.41*	0.89**	0.82**	-0.19ns	0.81**
بدون تنش	No stress	0.96**	0.44*	0.95**	0.92**	0.49*	0.37ns
تنش ملایم	Medium stress	0.98**	0.63**	0.94**	0.83**	0.50*	0.61**
تنش شدید	Severe stress	0.99**	0.64**	0.83**	0.64**	0.43*	0.74**
رقم باستان	Bastan	0.96**	0.45*	0.97**	0.94**	0.82**	0.83**
KFM5	KFM5	0.97**	0.56**	0.93**	0.82**	0.69**	0.76**
KFM20	KFM20	0.97**	0.28ns	0.92**	0.85**	0.47*	0.63**

*، ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری

*, ** and ns means significant at 0.05 and 0.01 probability level and non-significant respectively

DM: Dry matter, WUE (Water used efficiency), HI (Harvest index)

References

1. Alizadeh, O., Majidi, E., Nadian, H., Noor Mohammadi, Gh., and Amerian, M. 2007. Effects of drought stress and nitrogen rate on corn yield and components of yield. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University 13 (23): 427-434. (in Persian).
2. Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E., Wahid, A., and Anjum, S. 2003. Water stress in barley, effect on chemical composition and chlorophyll content. Pakistan Journal of Agriculture Science 40: 45-49.
3. Azari, A., Mirzaei. M. R. 2012. Effect of sowing date on grain yield and yield components of Foxtail millet promising Lines. Seed and Plant Production Journal 1: 2-28.
4. Brunda, S. M., Kamatar, M. Y., Naveenkunar, K. L., and Hundekar, R. 2014. Study of genetic variability, heritability and genetic advance in foxtail millet in both rainy and post rainy season. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science 7 (11): 34-37.
5. Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomata aperture not by affecting ATP synthetase. Treed in Plant Science 5 (5): 187-188.
6. Dai, H. P., Shan, C. J., Wei, A. H., Yang, T., Sa, W. Q., and Feng, B. L. 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail millet (*Setaria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. Australian Journal of Crop Science 6 (2): 232-237.
7. Ehdaie, B., 1995. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: II. Pot and field 121talic121ent. Crop Sci.35:1617-1626.
8. Erfani, M., Alizadeh, O., and Miri, H. R. 2013. Physiological aspects of panicum under different water supply, weeding and growth regulators for competitive ability against weed. International Journal of Farming Allied Sciences 2: 1241-1254.
9. Gardner F. P., Brenet Pearce, R., and Mitchell, R. L. 2010. Physiology of crop plants. Scientific Publishes, Hainglaj Offset Printers, Jodhpur. (India). Pp: 327.
10. Hatfild, J. L., Saure, T. J., and Prueger, J. H. 2001. Managing soil to achieve greater water use efficiency: A review. Agronomy 93: 271-280.
11. Heidari-zooleh, H., Jahansooz, M. R., Yunusa, I., Hosseini, S. M. B., Chaichi, M. R., and Jafari, A. A. 2011. Effect of alternate irrigation on root-divided Foxtail Millet. Australian Journal of Crop Science 5: 205-213.
12. Hui-Ping, D. *et al*. 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail millet (*Setaria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. Australian Journal of Crop Science 6 (2): 232-237.
13. Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., and Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.
14. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2010. Physiology of Environmental Stress in Plant.Ferdowsi University of Mashhad publication. 502p. (in Persian).
15. Keshavars, L., Farahbakhsh, H., and Golkar, P. 2012. The effects of drought stress and absorbent polymer on morph-physiological traits of Pear Millet. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3 (1): 148-154.
16. Keshavars, L., Farahbakhsh, H., and Golkar, P. 2013. Effects of different irrigation and superabsorbent levels on physio-morphological traits and forage yield of Millet. American-Eurasian Journal Agriculture and environment Science 13 (7): 1012-1018.
17. Khodabandloo, Sh., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Keshtkar, A. H. 2014. Effect of silicon on millet grain yield and water use efficiency under drought stress. Crops Improvement. 16 (2): 416-399.
18. Kumari, S. 1988. The effect of soil moisture stress on the development and yield of millet. Agronomy Journal 57: 480-487.
19. Lawlor, D. W., and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plant. Plant Cell and Environment 25 (2): 275-294.
20. Larcher, W. P. 1995. Physiological plant ecology. New York, USA. 506 p.
21. Maman, N., Lyon, D. J., Mason, S., Galusha, T. D., and Higgins, R. 2003. Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. Agronomy Journal 95: 1618-1624.
22. Prihar, S. S., and Stewart, B. A. 1991. Sorghum harvest index in relation to plant size, environment, and cultivar. Agronomy Journal 83: 603-608.
23. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., and Majidi, E. 2008. Effect of drought stress at different growth stages

on yield and water use efficiency of five proso Millet. (*Panicum milliaceum*) genotypes. Pakistan Journal of Botany 40 (4): 1427-1432.

24. Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi, E., Darvish, F., and Nourmohammadi, Gh. 2008. Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of three millet species. Journal of Agricultural sciences Islamic Azad University 11 (4): 121-131.
25. Vadez, V., Hash, T., Binder, F., and Kholova, J. 2012. Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. Plant Physiology 3: 158-169.
26. Yadav, O. P., and Bhatnagar, S. K. 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. Field Crops Research 70 (3): 201-208.
27. Zhang, J., and Kirkham, M. B. 1995. Water relations of water-stressed, split-root C4 (*Sorghum binocolor*) and C3 (*Helianthus annuus*) plants. American Journal of Botany 82 (10): 1220-1229.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 113-124

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۱۲۴-۱۱۳

Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Its Components in Several Genotypes and Cultivars of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.)

M. Khazaei[1*]- M. Galavi[2]- M. Dahmardeh[3]- S. M. Moosavi-Nik[3]- Gh. Zamani[4]- N. Mahdi-Nejad[5]
Received: 25-09-2016
Accepted: 19-04-2017

Introduction

According to NASA reports about atmospheric earth conditions, in the 30 years later, 45 countries will face with severe droughts and Iran is in the fourth place in this list. Water shortage is one of the most important limiting factors of production that affects plants growth by changing physiological conditions. Using adapted plants is a proper strategy to deal with the effects of water shortage on the status of water restrictions. Foxtail millet is a C_4 plant with good compatibility to dry areas and it has high water use efficiency. In medium stress partial stomata closure reduces transpiration more than photosynthesis in this plant and as a result, increase water use efficiency.

Materials and Methods

This experiment was carried out as split-plot layout based on randomized complete blocks design with four replications at the Agricultural Research Station, University of Birjand in 2014-2015. The main factor was drought stress in three levels including 100, 75 and 50 percent of plant water requirement (no stress as control, moderate stress and severe stress, respectively) and the sub-factor was millet genotype in three levels (including Bastan, KFM5 and KFM20). At four leaf stage, 75 plants per square meter were maintained and applied stress. Water use efficiency, evapotranspiration efficiency, harvest index for seed and ear, economic and biological yield were measured at maturity. . Data were analyzed with the SAS software ver 9.1 and the means were compared with Tukey's test.

Results and Discussion

The results showed that water use efficiency (WUE) was significantly decreased with increasing the intensity of drought stress in all three genotypes but not evapotranspiration efficiency (ETE, ratio of total dry matter to water used). Bastan cultivar had higher water use efficiency in all stress levels and was more affected under moderate stress while it was less affected under severe stress (33 and 31 percent compared to the control, respectively). The evapotranspiration efficiency (ETE) was similar in all three genotypes and did not change under stress condition. The water use efficiency was different in two years but drought stress had a similar effect on its. The drought stress reduced seed yield through its impact on water use efficiency, harvest index and total dry matter within two years. The highest and lowest seed yield were observed in control (152 g m^{-2}) and severe stress (171 g m^{-2}), respectively. Significant genotypic variation was observed for WUE (ratio of grain yield to water used), and harvest index (HI, ratio of grain yield to total dry matter). Bastan cultivar had higher WUE than two other lines in well-watered (0.82 vs. 0.63 g kg^{-1}) and drought (0.56 vs. 0.42 g kg^{-1}) field conditions, due mainly to higher HI in well-watered (41.04 vs. 36.01 percent) and drought (26.2 vs.25.5 percent). Drought stress had not a similar effect on harvest index in three genotypes. At all stress levels, water use efficiency, harvest index and dry matter had a higher direct effect on seed yield, respectively. Also, the results showed that the negative correlation between seed yield and evapotranspiration was not significant.

1- PhD student of Department of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Zabol University and MSc Birjand University
2, 3, 5- Professor and Associated professor and Assistant professor of Faculty of Agriculture, Zabol University
4- Associated Professor of Faculty of Agriculture, Birjand University
(*- Corresponding Author Email: mkhazaei@birjand.ac.ir)

Conclusions

Total dry matter was similar in the three genotypes but Bastan cultivar was better than the other lines and it is advisable to drought stress conditions due to higher water use efficiency and harvest index. As respects high crop water use efficiency is necessary for adaptation and resistance to drought stress and harvest index is an indicator of the amount of product to be used, WUE and HI can be used to identify suitable genotypes and cultivars for water shortages and drought conditions.

Keywords: Dry matter, Evapotranspiration efficiency, Harvest index, Seed yield